

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

AA

(11)Publication number : 08-265272  
(43)Date of publication of application : 11.10.1996

(51)Int.CI.  
H04B 10/24  
H01S 3/07  
H01S 3/10  
H01S 3/17  
H04B 10/02  
H04B 10/18

(21)Application number : 08-012941  
(22)Date of filing : 29.01.1996  
(71)Applicant : CAVI PIRELLI SPA  
(72)Inventor : MELI FAUSTO  
CAVACIUTI ALESSANDRO

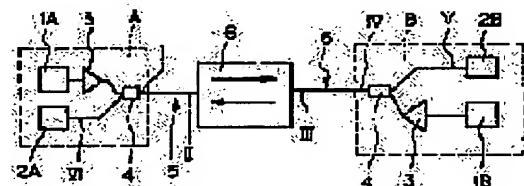
(30)Priority  
Priority number : 95MI 143 Priority date : 27.01.1995 Priority country : IT

## (54) BIDIRECTIONAL OPTICAL TELECOMMUNICATION SYSTEM COMPRISING BIDIRECTIONAL OPTICAL AMPLIFIER

### (57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To attain the amplification of signals so that these signals can reach a reception station at a power level enough for properly receiving a message sent while covering all the prescribed distance by attenuating optical signals transmitted by an optical fiber during transmission.

SOLUTION: A bidirectional optical amplifier 6 is provided with a unidirectional optical amplifier unit having one amplification wavelength band, two input/ output ports corresponding to two optical signals at least while having opposite propagation directions and mutually different 1st and 2nd wavelengths included in the amplification wavelength band, and two 1st and 2nd wavelength selective photocouplers respectively having 1st and 2nd wavelength pass bands including 1st and 2nd wavelengths which are not mutually overlapped. Next, the amplification unit is connected between two opposite side nodes of light bridge circuit, the 1st and 2nd selective photocouplers exist at the node of bridge circuit, and the 1st and 2nd selective photocouplers are arranged symmetrically to the amplification unit and the input/output ports for optical signals.



### LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 29.01.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

(19)日本国特許庁 (JP)

## (12)公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-265272

(43)公開日 平成8年(1996)10月11日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	府内整理番号	F I	技術表示箇所
H04B 10/24		H04B 9/00		G
H01S 3/07		H01S 3/07		
3/10		3/10		Z
3/17		3/17		
H04B 10/02		H04B 9/00		M
	審査請求 未請求 請求項の数11 O.L. (全17頁) 最終頁に続く			

(21)出願番号 特願平8-12941

(71)出願人 591011856

ピレリー・カビ・ソチエタ・ペル・アツイ  
オーニ

(22)出願日 平成8年(1996)1月29日

イタリア国 20126 ミラノ, ヴィアーレ  
・サルカ 222

(31)優先権主張番号 MI 95 A 0 0 0 1 4 3

(72)発明者 ファウスト・メリ

(32)優先日 1995年1月27日

イタリア共和国ピアチェンツァ, ストラド  
ネ・ファルネセ 100

(33)優先権主張国 イタリア (IT)

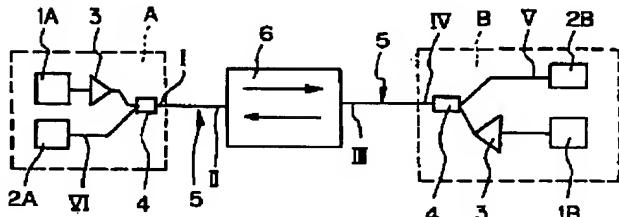
(72)発明者 アレッサンドロ・カヴァチューチ  
イタリア共和国ミラノ, サン・ドナト・ミ  
ラネーゼ, ヴィア・スピランベルト 4

(74)代理人 弁理士 湯浅 恒三 (外6名)

(54)【発明の名称】2方向性光増幅器を含む2方向性光通信システム

## (57)【要約】

【目的】光ファイバで伝送される光信号が伝送中に減衰を生じるため、信号が所定の全距離をカバーして送られるメッセージを正しく受信するために充分なパワー・レベルで受信局に達するように信号を増幅する必要がある。



【構成】1つの増幅波長帯域を持つ單方向性光増幅ユニットと、反対の伝搬方向を持ち、相互に異なりかつ増幅波長帯域に含まれる第1および第2の波長を持つ少なくとも2つの光信号に対する2つの入出力ポートと、相互に重なりの無い第1の波長を含む第1の波長通過帯域と第2の波長を含む第2の波長通過帯域とをそれぞれ持つ2つの第1および第2の波長選択光結合器とを含む2方向性光増幅器であって、増幅ユニットが光ブリッジ回路の2つの反対側ノード間に接続され、ブリッジ回路のノードに第1および第2の選択光結合器が存在し、第1および第2の選択結合器が増幅ユニットおよび光信号の入出力ポートに対して対称的に配置される。

## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 増幅波長帯域を持つ少なくとも 1 つの光アイソレータを含む光増幅ユニットと、それぞれ第 1 および第 2 の波長を有し、該波長が相互に異なりかつ前記増幅波長帯域に含まれる反対の伝搬方向を持つ少なくとも 2 つの光信号に対する 2 つの光入力ポートと光出力ポートと、前記第 1 の波長を含む第 1 の波長通過帯域と、前記第 2 の波長を含む第 2 の波長通過帯域とを有する 2 つの第 1 および第 2 の波長選択光結合器とを含み、前記第 1 および第 2 の波長通過帯域が相互にオーバーラップが無く、前記増幅ユニットが光プリッジ回路の 2 つの反対側ノード間に接続され、該光プリッジ回路の他方の反対側ノードに対して、存在する前記プリッジ回路の第 1 および第 2 の光選択結合器のノードで前記入出力ポートが接続される 2 方向性光増幅器であって、前記第 1 および第 2 の選択結合器が前記増幅ユニットおよび前記光信号の前記入出力ポートに対して対称的に配置されることを特徴とする 2 方向性光増幅器。

【請求項 2】 前記増幅ユニットが少なくとも 1 つのエルビウムでドープされた光ファイバを含むことを特徴とする請求項 1 記載の 2 方向性光増幅器。

【請求項 3】 前記ドープされた光ファイバがアルミナおよびゲルマニウムをドーパント中に含むことを特徴とする請求項 2 記載の 2 方向性光増幅器。

【請求項 4】 前記ドープされた光ファイバがアルミナ、ゲルマニウムおよびランタンをドーパント中に含むことを特徴とする請求項 3 記載の 2 方向性光増幅器。

【請求項 5】 選択結合器の前記通過帯域が少なくとも 10 nm の幅であることを特徴とする請求項 2 記載の 2 方向性光増幅器。

【請求項 6】 前記通過帯域の少なくとも 1 つが異なる波長の少なくとも 2 つの信号を含むことを特徴とする請求項 1 記載の 2 方向性光増幅器。

【請求項 7】 波長選択結合器が 0.5 に等しいかこれより高い性能指數 (a figure of merit) を持つことを特徴とする請求項 1 記載の 2 方向性光増幅器。

【請求項 8】 増幅波長帯域を持つ少なくとも 1 つの光アイソレータを含む光増幅ユニットと、反対の伝搬方向を持ち、それぞれ相互に異なる第 1 および第 2 の波長を持つ少なくとも 2 つの光信号に対する 2 つの光入力ポートと出力光ポートと、前記第 1 の波長を含む波長通過帯域と、前記第 2 の波長を含む波長反射帯域とを持ち、該波長帯域が相互にオーバーラップが無く、前記増幅ユニットが光プリッジ回路の 2 つの反対側ノード間に接続され、該プリッジ回路の他方の反対側ノードに対して前記入出力ポートが接続され、前記プリッジ回路は前記増幅ユニットを含み 3 つ以上の前記結合器を含まない少なくとも 1 つのフィードバ

ック・ループを形成する、少なくとも 2 つの波長選択光結合器とを含む 2 方向性光増幅器であって、フィルタ手段が無い場合に前記入出力ポートの 1 つにおいて少なくとも 15 dB の反射率が存在する場合に、前記波長選択結合器の構成が、前記フィードバック・ループの各々が前記増幅帯域に含まれる各波長における増幅器利得より大きい総減衰を有する如きものであることを特徴とする 2 方向性光増幅器。

【請求項 9】 光プリッジ回路が、第 1 の通過帯域を持つ 2 つの波長選択結合器と、回路自体のノードに配置された第 2 の通過帯域を持つ 2 つの波長選択結合器とを含み、前記結合器が増幅ユニットに対して対称的に配置されることを特徴とする請求項 8 記載の 2 方向性光増幅器。

【請求項 10】 増幅波長帯域を有する少なくとも 1 つの光アイソレータを含む光増幅ユニット (20) と、相互に異なりかつ前記増幅波長帯域に含まれる第 1 および第 2 の波長をそれぞれ有する反対の伝搬方向を持つ少なくとも 2 つの光信号に対する 2 つの入出力ポート (106, 107) と、

前記第 1 の波長を含む第 1 の波長通過帯域と前記第 2 の波長を含む第 2 の波長通過帯域とをそれぞれ持ち、該第 1 および第 2 の波長通過帯域が相互にオーバーラップが無く、

かつ、それぞれ前記第 2 の波長を含む第 1 の波長反射帯域と、前記第 1 の波長を含む第 2 の波長反射帯域とを持ち、

それぞれ 1 つの共通アクセス・ファイバ (103) を持ち、一方のアクセス・ファイバ (101) がその出力において前記波長通過帯域に含まれる信号を伝送し、かつ一方のアクセス・ファイバ (102) がその出力において前記波長反射帯域に含まれる信号を伝送する第 1 のタイプの 2 つの波長選択光結合器 (121, 123) と、第 2 のタイプの 2 つの波長選択光結合器 (122, 124) とを有する 2 方向性光増幅器であって、

第 1 の入出力ポート (106) が前記第 1 のタイプの第 1 の選択結合器 (121) の共通ファイバ (103) に接続され；その出力において前記第 1 のタイプの第 1 の選択結合器 (121) の前記通過帯域に含まれる信号を

40 伝送するファイバ (101) が、その出力において前記第 2 のタイプの第 1 の選択結合器 (122) の前記反射帯域に含まれる信号を伝送するファイバ (102) に接続され；前記第 1 のタイプの第 1 の選択結合器 (121)

の前記反射帯域に含まれる信号を出力において伝送するファイバ (102) が、前記第 2 のタイプの第 2 の選択結合器の前記通過帯域に含まれる信号をその出力において伝送するファイバ (101) に接続され；前記単方向性増幅ユニット (20) が、前記第 2 のタイプの第 1 の選択結合器 (122) の共通ファイバ (103) と前記第 2 のタイプの第 2 の選択結合器 (124) の共通

ファイバ(103)との間に接続されて、光アイソレータが、前記第1の選択結合器(122)から前記第2のタイプの選択結合器(124)への方向における放射の通過を可能にするようにし；前記第2のタイプの第1の選択結合器(122)の前記通過帯域に含まれる信号をその出力において伝送するファイバ(101)が、前記第1のタイプの第2の選択結合器(123)の前記反射帯域に含まれる信号をその出力において伝送するファイバ(102)に接続され；前記第2のタイプの第2の選択結合器(124)の前記反射帯域に含まれる信号をその出力において伝送するファイバ(102)が、前記第1のタイプの第2の選択結合器(123)の前記通過帯域に含まれる信号をその出力において伝送するファイバ(101)に接続され；前記第1のタイプの第2の選択結合器(123)の共通ファイバ(103)が第2の出入力ポート(107)に接続されることを特徴とする2方向性光増幅器。

【請求項11】 第1の伝送局と第2の伝送局とにおいて、第1および第2の波長で第1の光信号と第2の光信号とをそれぞれ生成するステップと、

前記第1の信号と前記第2の信号とをそれぞれ通信回線の光ファイバの反対側端部へ導入するステップと、前記第1の信号と前記第2の信号とを回線の中間に配置された光増幅器において少なくとも1回増幅するステップと、

第1の受信局と第2の受信局のそれぞれに対する前記第1の信号と前記第2の信号とを、前記第1および第2の伝送局に関する前記光ファイバの反対側端部で受取るステップとを含み、前記第1と第2の信号を増幅する前記ステップが、光アイソレータを含むファイバ増幅ユニットを含む1つの光増幅器において行われ、かつ前記信号の各々を第1の波長選択光結合器を少なくとも1回通して伝送するステップと、

前記増幅ユニットの上流側と下流側の両方において、前記信号の各々を第2の波長選択光結合器を少なくとも1回通して反射するステップと、を含む2方向性通信方法において、

前記伝送ステップと反射ステップとが前記信号の各々に対して同じシーケンスで生じることを特徴とする2方向性通信方法。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光ファイバの2方向性通信システムに関し、特に2方向性光増幅器に関する。

##### 【0002】

【従来の技術】 最近、遠隔通信される情報を含む光信号を送るために光ファイバを用いることは、通信分野では公知である。

##### 【0003】

【発明が解決しようとする課題】 また、光ファイバで送られる光信号がその移動中に減衰を受け、このことがこの信号が所定の全距離をカバーして送られたメッセージの正しい受信のための充分なパワー・レベルで受信局に達するように、信号を増幅することを必要とさせることも公知である。

【0004】 この増幅は、線に沿って予め定めた間隔で配置された適当に増幅器により達成することができ、この増幅器が送られた光信号のパワーを周期的に上昇させる。

【0005】 この目的のため、信号が光形態にあるまま、即ちその信号のオプトエレクトロニック検出(opto electronic detection)および電気光学的再生をせずに、増幅される光増幅器がこれまで用いられている。

【0006】 このような光増幅器は、光エネルギーの管理によって適当に励起されるならば、シリカを基材とする光ファイバにおける最小光減衰に対応する波長帯域における高い放射を生じる蛍光ドーパント(例えば、エルビウム)の特性に基くものである。

【0007】 このような増幅器は、単方向タイプ、即ち光信号が予め定めた移動方向を持つ装置である。これは、例えば、本願の出願人の米国特許第5,204,923号および同第5,210,808号に開示される如く、特に高い利得値が要求される場合に光増幅器が、例えば増幅器に接続された光ファイバ線に沿ったレイリー散乱により増幅器の外部で反射される信号が増幅器自体に戻ることを阻止するための單一方向タイプの構成要素を含むという事実による。

【0008】 結果として、2方向性送信は、各々が單一方向に通信するため用いられる各増幅器が設けられた2つの別個の通信線の使用を必要とし、これが高い接続コストをもたらす結果となる。

【0009】 蛍光ドーパント増幅器により提供される信号を異なる波長で独立的に増幅する可能性を探求することにより、1つの單一方向性増幅器を使用して2方向性増幅を獲得する試みがなされてきた。この原理に基く2方向性増幅器については、S. Seikai等の論文「(Novel Optical Circuit Suitable for Wavelength Division Bidirectional Optical Amplification)」(Electronics Letters, 1993年7月8日、第29巻、第14部、1268~1270ページ)に記載されている。これは、異なる波長の2つの信号が反対方向に伝搬し、受動型光ファイバ部分により相互に接続された波長選択結合器と公知の形式の單一方向性ドープを施したファイバ増幅装置とからなる光ファイバ伝送線に沿って配置される装置である。信号波長は共に、ドープされたファイバの増幅帯域内にある。選択結合器を介

40  
45  
50

して、異なる波長の2つの信号が異なる光移動経路へ導入される。この2つの光移動経路は、同じ方向に2つの信号が移動する増幅ファイバと対応する部分でのみ一致する。以下において更に詳細に記述されるこの装置は、伝搬信号の波長の中間波長における内部反射によって生じる不安定性に関わる問題を有し、この問題は一部が調整可能なフィルタを付設することによってのみ解決することができる。結果として、非常に複雑な構造が要求され、前記フィルタの連続的かつ正確な調整のための装置を用いることが必要である。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、一特徴によれば、1つの増幅波長帯域を持つ少なくとも1つの光アイソレータを含む光増幅ユニットと、反対の伝搬方向を持ち、それぞれ相互に異なりかつ前記増幅波長帯域内に含まれる第1および第2の波長を持つ少なくとも2つの光信号に対する2つの光入出力ポートと、前記第1の波長を含む第1の波長通過帯域と前記第2の波長を含む第2の波長通過帯域とを有し、この第1および第2の波長通過帯域が相互に重なることがない2つの第1の波長選択性光結合器と2つの第2の波長選択性光結合器とを有し、前記増幅ユニットが、1つの光プリッジ回路の2つの反対のノード間に接続され、この光プリッジ回路の他方の反対側ノードに前記入出力ポートが接続され、前記プリッジ回路のノードに第1および第2の光選択結合器が存在する2方向性光増幅器であって、前記第1および第2の選択結合器が、前記増幅ユニットおよび前記光信号の前記入出力ポートに対して対称的に配置されることを特徴とする2方向性光増幅器に関するものである。

【0011】望ましい1つの構成では、前記増幅ユニットは、少なくとも1つのエルビウムでドープされた光ファイバを含む。

【0012】望ましくは、前記ファイバは、ドーパントにアルミナとゲルマニウムを含み、最も望ましくは、このファイバは、ドーパントにアルミナとゲルマニウムとランタンを含む。

【0013】選択結合器の前記通過帯域は、少なくとも10nm幅であることが望ましい。

【0014】特定の構成では、前記通過帯域の少なくとも1つは、異なる波長の少なくとも2つの信号を含む。

【0015】望ましい1つの構成では、波長選択結合器は0.5と等しいかそれ以上の性能指数(figure of merit)を有する。

【0016】第2の特徴によれば、本発明は、1つの増幅波長帯域を持つ少なくとも1つの光アイソレータを含む光増幅ユニットと、反対の伝搬方向を持ち、それぞれ相互に異なる第1および第2の波長を持つ少なくとも2つの光信号に対する2つの光入力と出力のポートと、前記第1の波長を含む波長通過帯域と前記第2の波長を含みかつ相互に重ならない波長反射帯域とを持つ少なくと

も2つの波長選択性光結合器とを有し、前記増幅ユニットが光プリッジ回路の2つの反対のノード間に接続され、そのプリッジ回路の他方の反対側ノードに前記入出力ポートが接続され、このプリッジ回路が前記増幅ユニットを含み、前記結合器の3つ以上を含まない少なくとも1つのフィードバック・ループを形成する2方向性増幅ユニットであって、フィルタ手段が存在しない場合に、前記入出力ポートの一方に少なくとも15dBの反射率が存在する時、前記波長選択結合器の構成が、前記フィードバック・ループの各々が前記増幅帯域に含まれる各波長における増幅器利得より大きな総減衰を持つ如きことを特徴とする2方向性増幅ユニットに関するものである。

【0017】本発明の前記第2の特徴の望ましい構成においては、前記2方向性光増幅器は、光プリッジ回路が、その回路自体のノードに配置され、かつ結合器が増幅ユニットに対して対称的に配置される、第1の通過帯域を持つ2つの波長選択結合器と、第2の通過帯域を持つ2つの波長選択結合器とを含むことを特徴とする。

【0018】別の特徴によれば、本発明は、1つの増幅波長帯域を持つ少なくとも1つの光アイソレータを含む光増幅ユニットと、反対の伝搬方向を持ち、それぞれ相互に異なるものでありかつ前記増幅波長帯域に含まれる第1および第2の波長を持つ少なくとも2つの光信号に対する2つの入出力ポートと、第1のタイプの2つの波長選択性光結合器と、第2のタイプの2つの波長選択性光結合器とを含み、それぞれ、前記第1の波長を含む第1の波長通過帯域と、前記第2の波長を含む第2の波長通過帯域とを持ち、前記第1および第2の波長通過帯域が相互に重ならず、それぞれ、前記第2の波長を含む1つの波長反射帯域と、前記第1の波長を含む第2の波長反射帯域とを有し、一方のアクセス・ファイバがその出力に前記波長通過帯域に含まれる信号を含み、かつ一方のアクセス・ファイバがその出力に前記波長基準帯域に含まれる信号を含む、相互に共通のアクセス・ファイバを持つ2方向性光増幅器であって、第1の入出力ポートが前記第1のタイプの第1の選択結合器の共通ファイバに接続され、出力に第1のタイプの前記第1の選択結合器の前記通過帯域に含まれる信号を含むファイバが、第2のタイプの第1の選択結合器の前記基準帯域に含まれる出力を出力に含むファイバに接続され、第1のタイプの第1の選択結合器の前記反射帯域に含まれる信号を出力に含むファイバが、第2のタイプの第2の選択結合器の前記通過帯域に含まれる信号を出力に含むファイバに接続され、単方向性増幅ユニットが、第2のタイプの第1の選択結合器の共通ファイバと、第2のタイプの第2の選択結合器の共通ファイバとの間に接続され、その結果、光アイソレータが第2のタイプの第1の選択結合器から第2の選択結合器への方向における光の通過を可能にし、第2のタイプの第1の選択結合器の前記通過帯域

に含まれる信号を出力に含むファイバが、第1のタイプの第2の選択結合器の前記反射帯域に含まれる信号をその出力に含むファイバに接続され、第2のタイプの第2の選択結合器の前記基準帯域に含まれる信号をその出力に含むファイバが、第1のタイプの第2の選択結合器の前記通過帯域に含まれる信号をその出力に含むファイバに接続され、第1のタイプの第2の選択結合器の共通ファイバが第2の入出力ポートに接続される、2方向性光増幅器に関するものである。

【0019】他の特徴によれば、本発明は、第1の送信局と第2の送信局において、第1の光信号と第2の光信号とをそれぞれ第1の波長と第2の波長で生成するステップと、前記第1の信号と前記第2の信号とをそれぞれ通信線の光ファイバの反対側端部に導入するステップと、前記第1の信号と前記第2の信号を線の中間に配置された光増幅器で少なくとも1回増幅するステップと、第1の受信局と第2の受信局の各々に対する前記第1の信号と前記第2の信号とを、前記第1の送信局と前記第2の送信局に対する前記光ファイバの反対側端部で受信するステップとを含み、前記第1の信号と前記第2の信号とを増幅する前記ステップが、光アイソレータをファイバ増幅ユニットを含む1つの光増幅器で実施され、前記信号の各々を少なくとも1回第1の波長選択性光結合器を経て伝送するステップと、増幅ユニットの上流側と下流側の両方で、前記信号の各々を第2の波長選択性光結合器を経て反射させるステップとを含む方法であつて、前記伝送ステップと前記反射ステップとが前記信号の各々に対して同じシーケンスで生じることを特徴とする2方向性通信方法に関するものである。

【0020】更なる詳細については、添付図面に関する以降の記述において見出されよう。

#### 【0021】

【発明の実施の形態】図1に示されるように、本発明による2方向性光通信線が2つの終端局AおよびBを含み、この終端局の各々が各自送信局(*respective transmitting station*)1A、1Bおよび各自受信局(*respective receiving station*)2A、2Bからなっている。

【0022】特に、送信局1Aは、第1の波長 $\lambda_1$ (例えば、1533nm)を持つレーザ送信機を含み、送信局1Bは、波長 $\lambda_2$ (例えば、1556nm)を持つレーザ送信機を含んでいる。

【0023】送信機1A、1Bは、回線要件に従って、特に光回線ファイバの色分散、光回線ファイバの長さおよび予期される伝送速度と関連して、直接的に変調されあるいは外部変調により変調される送信機である。

【0024】送信機1A、1Bの各々の出力は、各自のブースタ3の入力へ送られ、かつこのブースタ(booster)から、前記レーザ送信機1A、1Bの各波長

間に選択性を持つ結合器4の入力へ送られる。

【0025】2つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ が同じファイバ内で一つにマルチプレックスされる選択結合器4の出力は、2つの終端局AおよびBを相互に接続する光ファイバを含む光回線5の端部に接続される。

【0026】光回線5の光ファイバは、通常は、これまで適切な光ケーブルに導入されたステップ・インデックス(SI)形あるいは分散偏移(dispersed shift)形の単一モード・ファイバであり、

10 その全長は所要の接続距離がカバーされるまで各増幅器間で数十(あるいは、数百)キロメートルである。

【0027】光回線5に沿って介挿されているのは、全般的に6で示される本発明による2方向性光増幅器6である。

【0028】本文の記述では唯一の光増幅器が示されるが、光接続の全長およびその異なる部分におけるパワーに従って、連続的な幾つかの光増幅器が存在し得、例えば、1つの終端局と1つの増幅器間あるいは2つの連続的な増幅器間に含まれるファイバ部分は約100キロメートルの長さになり得る。

【0029】伝送される光信号が、(波長、変調の種類、パワーに関して)それ自体の伝送特性および先に述べた接続に対して与えられたものとは異なる特性を持つ信号源によって生成されるものとすれば、送信局1A、1Bの各々は、元の外部光信号を受取り、これらを検出して伝送システムに適合する新たな特性で再生するための各自のインターフェース・ユニットからなることになる。

30 【0030】特に、前記インターフェース・ユニットは、以下に述べるように、システム要件に適合した波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を持つ各光動作信号(簡潔にするため、「 $\lambda_1$ 信号」および「 $\lambda_2$ 信号」とも呼ばれる)を生成する。

【0031】同じ出願人の参考のため本文に援用される米国特許第5,267,073号においてインターフェース・ユニットが記載され、このインターフェース・ユニットは特に光入力信号を光伝送線に適する形態へ変換するための伝送アダプタと、伝送された信号を受信ユニットに適する形態へ変換するための受信アダプタとを含む。

40 【0032】本発明のシステムで使用するためには、伝送アダプタは、出力信号を生成するレーザとして外部変調タイプのレーザを含むことが望ましい。

【0033】本発明における使用に適合するタイプのインターフェース伝送ユニットを示す図が図2に示され、これにおいては、簡潔にするため光接続は実線でまた電気的接続は破線で示される。

【0034】外部信号源7からの光信号は、電子増幅器9へ送られる電気信号を放出する光検出器(フォトダイオード)8により受取られる。

50 【0035】増幅器9からの電気出力信号は、入力信号

の情報を含む光信号を前に選択された波長で生成するための、全体的に11で示される変調レーザ・エミッタのパイロット回路10へ送られる。

【0036】好都合にも、サービス・チャンネルの許容回路(admitting circuit)12をパイロット回路10に接続することができる。

【0037】変調レーザ・エミッタ11は、連続放出形レーザ13と、例えば、回路10の出力信号によりパイロットされるマッハーツェンダ形の外部変調器14とを含む。

【0038】回路15はレーザ13の放出波長を検証して、これを温度などの如きあり得る外部授動を補償することにより、前に選択された値に対して一定に保持する。

【0039】前述の種類のインターフェース受信ユニットは、先に述べた米国特許に記載され、商品名TXT/E-EMで出願人から入手可能である。

【0040】あるいはまた、レーザ送信機1A、1Bは、DFB1533nmおよび1556nmのレーザを用いて、選択された波長で動作するレーザ送信機よい。以下に述べる伝送実験においては、特に、PHILIPS NEDERLAND BV(オランダ国Graevenhage 2500 BV)により市販される終端装置SDHモデルSLX-1/16に受信機と共に組込まれる2.5Gビット/秒で直接変調されるDFB 1533-nmレーザと、ANRITSU CORP(日本国東京都港区5-10-27)により製造される連続放出タイプのDFB 1556-nmレーザとが使用された。

【0041】図1において、ブースタ3が、要求される伝送品質を保証するのに充分なパワー・レベルを終端で保持しながら、送信機1A、1Bにより生成された信号が受信局または增幅手段に達する前に存在する後続の光ファイバ部分を移動することを可能にするのに充分な値まで上昇させる。

【0042】本発明の目的のため、また先に述べた用途のため、ブースタ3は、例えば、下記の特徴を持つ市販される種類の光ファイバ増幅器である。即ち、

入力パワー： -5乃至+2dBm

出力パワー： 13dBm

動作波長： 1530~1560nm

適切なモデルは、出願人から入手可能なTPA/E-12である。

【0043】選択結合器4は、異なる波長の2つの光信号を1つの出力ファイバへ送り、1つの入力ファイバにおける2つのオーバーラップ信号を各自の波長に従って2つの光出力ファイバへそれぞれ分けるための光構成要素である。前記の選択結合器は、漏話が存在しない場合に2つの方向への信号の分離を可能にするための通過帯域幅を持つことが要求される。

【0044】選択結合器(selective coupler)21、22は、図3のAに詳細に示されるタイプであることが望ましく、これら結合器は、それぞれ101、102、103、104で識別され4つの光アクセス・ファイバを持ち、その中間部分に選択性の反射要素105を含み、この反射要素は伝送時に帯域通過要素の如く、また反射時には帯域除去要素の如く挙動し、即ち、この要素は予め定めた帯域内の波長を持つ信号の通過を可能にしあつ前記帯域外の波長の信号を反射するためのものである。例えば、要素105の通過帯域内の波長 $\lambda_1$ の選択結合器のファイバ101に対する入力信号はファイバ103へ重大な減衰なしに伝送され、同様に、 $\lambda_2$ 信号はファイバ104からファイバ102へ伝送され、あるいは対称的にファイバ103からファイバ101へ、またファイバ102からファイバ104へ伝送される。対照的に、このような帯域外の波長 $\lambda_3$ のファイバ101に対する入力信号はファイバ104へ反射され、同様に、 $\lambda_4$ 信号はファイバ102からファイバ103へ進み、対称的にファイバ104からファイバ101へ、またファイバ103からファイバ102へ進む。

【0045】図3のBにおいて、以下に選択性反射要素105の通過帯域として、あるいは更に延長して選択結合器の通過帯域として、波長が選択性反射要素105を介する伝送時の最小減衰波長に近くかつ最小減衰に加えて0.5dBより大きくない減衰が対応する帯域が示される。この通過帯域の幅は、図3のBに「-0.5dB BW」として示される。

【0046】同じ方法で、以下において、選択性反射要素105の反射帯域として、あるいは更に延長して選択結合器の反射帯域として、波長が反射時の最小減衰波長に近く、かつ選択性反射要素105による反射時に、最小減衰に加えて0.5dBより大きくない減衰が対応する帯域が示される。

【0047】前記選択結合器は、その通過帯域の少なくとも一部およびその反射帯域の少なくとも一部が2方向性光増幅器6の増幅帯域内に含まれるように、かつ波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ が前記通過帯域および反射帯域内にそれぞれ含まれるように選択された。

【0048】4つのアクセス・ファイバについて述べたが、上記用途に適合する選択結合器は、4つ目(例えば、104で示されたもの)を使用しないで、3つのアクセス・ファイバのみを有する。

【0049】事例として、適切な選択結合器は、カナダ国オンタリオ州Nepean、Heston DriveのJDS FITEL社により市販されるモデルWD 1515AY-A3であり、その構造は、3つのアクセス・ファイバ101、102、103が設けられた唯一の変形で図3のAに関して説明した記述と対応する。

【0050】関連するスペクトル減衰カーブが図4のA

および図 4 の B に再現されている。

【0051】これらカーブは、所与の出力ファイバ (output fiber) までの伝搬中に選択結合器の所与のファイバへ入力される信号により、WD 1515 A Y-A 3 の変化時に遭遇した減衰を示す。カーブ 4A は特に、ファイバ 102 と 103 間の伝搬信号の場合と関連し、1533 nm の中心の約 10 nm の帯域に含まれる波長に対する重要な減衰 (> 20 dB) と、1543 nm より大きい波長に対する非常に小さな減衰 (約 0.5 dB) とを示す。ファイバ 101 と 103 間の伝搬信号の場合に関するカーブ 4B は、前の場合に関して対称的であり、1533 nm を中心とする約 10 nm の帯域に含まれる波長に対する非常に小さな減衰 (約 0.7 dB) と、1543 nm より大きい波長に対する重要な減衰 (> 20 dB) とを示す。

【0052】上記モデルの選択結合器の場合、先に規定した通過帯域の幅は約 10 nm である。

【0053】図 3 の B に関して類推して、選択結合器の -20 dB における通過帯域として、選択結合器を経る伝送時に最小減衰に加えて 20 dB より大きくなる減衰に対する波長帯域が示される。

【0054】その代わり、-20 dB におけるこの通過帯域幅 (図 3 の B における「-20 dB BW」) は上記モデルの選択結合器では約 20 nm である。

【0055】-20 dB における通過帯域幅に対する通過帯域幅の比として規定される選択結合器の性能指数 (FOM) は、上記モデルの選択結合器の場合は約 0.5 である。

【0056】図 5 に再現されるのは、Electronics Letters における S. Seikai 等の先に述べた論文に記載された公知の 2 方向性波長分離増幅器の図である。この図は、この論文の図 1 から取られたものである。

【0057】この装置は、1 つの単方向性光増幅ユニット EDFA、4 つの波長選択光結合器 WSC 1、WSC 8、WSC 9、WSC 2 および 2 つの光コネクタ 106、107 を含む。

【0058】前記論文の図に示された増幅ユニット EDFA は、共に図では ISO で示される 2 段のエルビウムでドープされたファイバからなり、第 1 の光アイソレータが 2 段のエルビウムでドープされたファイバ間に挿入され、第 2 の光アイソレータが第 2 段の出力に挿入されている。

【0059】波長選択光結合器は、前記論文においてタイプ JDS 1535 (WSC 1、WSC 2) および JDS 1550 (WSC 8、WSC 9) として識別される。

【0060】この論文によれば、2 つのタイプ間に使用における相違はない。

【0061】選択結合器 WSC は、1.533 μm および 1.550 μm の近傍における波長  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  にお

ける 2 つのチャンネルを有する。

【0062】コネクタ 106、107 間に含まれるとして識別され増幅回路は、選択結合器 WSC の特性により異なる波長における 2 つの対向伝搬する光信号が同じ方向に増幅ユニット EDFA を通過するブリッジ回路である。

【0063】上記論文は、4 つの市販される (相互に異なる) 選択結合器 WSC を用いるこの簡単な構成が、30 dB より高い利得の場合は回路が選択結合器に

10 における損失により不安定になるが、25 dB より低い利得の増幅器の場合に動作し得るという考察を再現している。この問題を解決するため、この論文は、ループの 1.55 μm での入力分岐における JDS 1535 タイプの別の選択結合器 WSC 4 と、自発放出ノイズを低減するための入力分岐における 2 つの光同調可能フィルタ TOF 1 および TOF 2 の使用を示唆しており、前記フィルタが選択結合器 WSC で置換されるならば、システムが選択結合器の通過帯域の交差時に 1.54 μm で不安定となる。

20 【0064】示唆される如き更なる選択光結合器の追加は、構造をより一層複雑にする。更にまた、正確かつ連続的な調整を必要とする同調可能タイプのフィルタの使用、従って、他の検査手段の使用は、示唆された構成の実際の完成を更に困難なものにする。

【0065】図 6 に示される表示において 6 で全体的に示される装置は、出願人により実験された 1 つの構成による 2 方向性光増幅器と対応する。

【0066】これは、以下に述べる 20 で示される 1 つの単方向性増幅ユニットと、2 つの波長選択光結合器 21、22 と、2 つの光コネクタ 106、107 と、受動型光ファイバ部分 23、29 を含む。

【0067】図 6 に示されるように、コネクタ 106 は、選択結合器 21 のファイバ 101 に接続される。選択結合器 21 のファイバ 102 と選択結合器 22 のファイバ 102 間の接続はファイバ 23 により行われ、選択結合器 21 のファイバ 104 と選択結合器 22 のファイバ 104 間の接続はファイバ 29 によって行われる。単方向性増幅ユニット 20 は、選択結合器 21 のファイバ 103 と、選択結合器 22 のファイバ 101 間に接続され、前記増幅ユニットの動作方向が選択結合器 21 から選択結合器 22 へ進む方向であるようにする。最後に、コネクタ 107 は、選択結合器 22 のファイバ 103 に接続される。

【0068】単方向性増幅ユニット 20 は、その範囲内で 2 方向性光増幅器 6 の両方向における動作波長  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  が選択される増幅波長帯域を特徴とする光回線増幅器タイプであることが望ましい光増幅ユニットであり、適切な回線増幅器は例えば、以下に詳細に述べる商品名 OLA/E-MW で出願人が市販するものである。

【0069】選択光結合器 21、22 は、図 3 の A に関

して述べたタイプのものである。

【0070】前記選択結合器は、その通過帯域の少なくとも一部およびその反射帯域の少なくとも一部が増幅ユニットの増幅帯域内に含まれ、かつ波長 $\lambda_1$ が前記通過帯域内にありかつ波長 $\lambda_2$ が同じユニットの反射帯域内にあるように選択される。

【0071】適切な選択結合器は、例えば、先に述べた JDS FITELにより製造されるモデルWD 1557AY-4であり、このモデルは先に述べたモデルWD 1515AY-A3の如きモデルであるが、4つのアクセス・ファイバ101、102、103、104が設けられている。ファイバ101と104間、およびファイバ102とファイバ103間の関連するスペクトル減衰カーブは、実用的には図4のAに再現されたものと同じである。同様に、ファイバ101と103間およびファイバ102と104間のスペクトル減衰カーブは、図4Bに再現されたものと実用的に同じである。この選択結合モデルに対しても、性能指標(FOM)は約0.5の値を有する。

【0072】光コネクタ106、107は、日本国千葉県松戸市Matsuhida 296-1のSEIKO N GIKENにより製造されるシリーズSPCでよい。

【0073】図6によれば、選択結合器21の場合、アクセス・ファイバ101に対する波長 $\lambda_1$ の入力信号が選択結合器を変化せずに通過してファイバ103から出て、ファイバ104に対する入力信号 $\lambda_2$ は反射されてファイバ101に対する出力に送られ、ファイバ102に対する入力信号 $\lambda_1$ は反射されてファイバ103に対する出力に送られる。同様に、選択結合器22の場合には、アクセス・ファイバ101に対する波長 $\lambda_1$ および

波長 $\lambda_2$ の入力信号が存在すると、 $\lambda_1$ 信号は選択結合器を変化せずに通過してファイバ103から出てくるが、 $\lambda_2$ 信号は反射されてファイバ104に対する出力へ送られ、ファイバ103に対する $\lambda_1$ 入力信号は反射されてファイバ102に対する出力へ送られる。従って、コネクタ107を通る伝送線からの $\lambda_2$ 信号は2回の反射

(22および21における)を受け、単方向性増幅ユニット20において増幅され、コネクタ106から出る前に更に2回の反射(22および21における)を受けれる。その代わり、コネクタ106を通る伝送線からの $\lambda_1$ 信号は、選択結合器21を通って送られ、増幅され、次いで選択結合器22を通って伝送される。

【0074】従って、前記装置は、いずれの方向における2つの波長の信号を同時に増幅することが可能である。

【0075】選択結合器は、その伝送毎に帯域通過フィルタ(図4のBに示される如き)として挙動し、これにより信号と共に伝搬する $\lambda_1$ と $\lambda_2$ 間の波長における自然放出(spontaneous emission)を除去する。反対に、各反射時には、選択結合器は帯域除去フィルタ(図4のA)として挙動して、自然放出を減衰することはない。

【0076】上記の2方向性光増幅器6を、ファイバ5の各々における26.7dBの減衰により送信機1Aが1533nmで動作し、送信機1Bが1556nmで動作する図1に示した図による光結線に挿入することによって、図1に示した位置I、II、III、IV、V、VIにおけるパワーが決定された。これらのパワーは次の表1で要約される。

### 30 【0077】

表 1

	パワー (dBm)	
	$\lambda_1 = 1533\text{ nm}$	$\lambda_2 = 1556\text{ nm}$
I	+11	-19
II	-15.7	+7.7
III	+7.7	-15.7
IV	-19	+11
V	-20	
VI		-20

方向性増幅器の第2の構成は、2つの選択光結合器31、32と、1つの単方向性増幅ユニット20と、2つの光コネクタ106、107と、光アイソレータ33と、受動型光ファイバの部分34、35とを含む。

【0079】図7に示されるように、コネクタ106は、選択光結合器31のファイバ101に接続されている。選択光結合器32のファイバ102と選択光結合器31のファイバ102間の接続は、光アイソレータ33が挿入されるファイバ34により行われ、この光アイソレータは選択光結合器32から選択光結合器31への方

当該第1の構成による2方向性光増幅器の別の変更例は、波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ がそれぞれ反射および通過帯域に含まれかつ $\lambda_1$ および $\lambda_2$ 信号の伝搬方向と同時に反対になるように選択された如き選択光結合器21'、22'の使用により当該構成を修正することによって、即ち、光コネクタ106を $\lambda_1$ 信号が出てくる伝送線セグメントに接続し、かつ光コネクタ107を $\lambda_2$ 信号が出てくる伝送線セグメントに接続することによって達成される。

【0078】図7によれば、出願人により実験された2

向にのみ光の伝搬を可能にするためのものである。選択光結合器31のファイバ103と選択光結合器32のファイバ104間の接続は、ファイバ35により行われる。単方向性増幅ユニット20は、選択光結合器31のファイバ104と選択光結合器32のファイバ101間で、前記増幅ユニットの動作方向が選択光結合器31から選択光結合器32への方向であるように接続される。最後に、コネクタ107は、選択光結合器32のファイバ103に接続される。

【0080】单方向性増幅ユニット20と、光コネクタ106、107とは、図6に関して述べた装置において用いられたものと同じタイプのものである。

【0081】2方向性増幅器のいずれかの方向における動作波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ は、单方向性増幅ユニット20の増幅帯域内で選択される。

【0082】光アイソレータ33は、35dBより大きな遮蔽と-50dBより小さな反射率を持つ伝送信号の偏光とは無関係なタイプのものである。

【0083】適切なアイソレータは、米国ニュージャージー州Dover, Harding Avenue 64のISOWAVEから入手可能なモデルDML I-15PIPT-A S/N 1016である。

【0084】選択光結合器31、32は、図3のAに関して述べた如き反射タイプの選択結合器であり、各通過帯域が共に单方向性増幅ユニット20の増幅帯域内に含まれるように選択される。選択光結合器31、32の通過帯域は、それぞれ波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ を含む。この2つの選択結合器の通過帯域は更に、オーバーラップがない。波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ は、それぞれ選択光結合器32、31の反射帯域内に含まれる。

【0085】選択光結合器31に対してはモデルWD 1515AX-4を用いることができ、選択光結合器32に対してはモデルWD 1557AY-4を用いることができ、共にJDS FITEL社製である。図6の装置において使用されるための選択結合器と類似する後者の特徴については、既に述べた。前者のスペクトル特性は図8のAおよびBに示される。図4のAおよびBに示されたものと類似するカーブがあり、ここでは同図に対してなされた記述を参照する。特に、この場合における選択結合器の性能指標(FOM)は、約0.5の値を有する。図4のAおよびBに示された場合とは異なり、モデルWD 1515AX-4に関する限り選択結合器の中心波長は約1557nmである。

【0086】図7によれば、選択光結合器31の場合には、アクセス・ファイバ101に入力される選択結合器の帯域内の波長 $\lambda_1$ の1つの信号は、選択結合器によって反射されてファイバ104から出るが、ファイバ103に入力される選択光結合器32の帯域内の波長 $\lambda_2$ に含まれる(従って、選択光結合器31の帯域外の)1つの信号は、伝送されてファイバ101に対する出力へ送

られ、波長 $\lambda_2$ のファイバ102への1つの入力信号は伝送されてファイバ104に対する出力へ送られる。

【0087】選択光結合器32の場合に、アクセス・ファイバ101に対する波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ における入力信号が存在すると、 $\lambda_1$ 信号は選択結合器を変化せずに通過してファイバ103から出てくるが、 $\lambda_2$ 信号は反射されてファイバ104から送出され、波長 $\lambda_2$ におけるファイバ103に対する入力信号は反射されてファイバ102から送出される。

【0088】従って、伝送線からコネクタ107を通る入 $\lambda_1$ 信号は、反射(32)と伝送(31)を受け、増幅ユニット20において増幅され、更にコネクタ106から出てくる前に再び反射(32)と伝送(31)を受けれる。伝送線からコネクタ106を経る入 $\lambda_2$ 信号は、選択光結合器31により反射されて増幅され、次いで選択光結合器32を経てコネクタ107へ伝送される。

【0089】従ってこの場合も、当該装置は、いずれの方向の2つの波長における信号を同時に増幅することが可能である。

【0090】伝送時の選択結合器は通過毎に図4のB、図8のBに示されるように帯域通過フィルタとして挙動し、これにより信号と共に伝搬する $\lambda_1$ と $\lambda_2$ の中間の波長における自発放出を除去する。反対に、各反射時には、選択結合器は、帯域除去フィルタとして挙動し(図4のA、図8のA)、自発放出を減衰することはない。

【0091】従って、各伝搬方向においては、自発放出を減衰する要素に対して少なくとも1回の通過が生じる。

【0092】更に、光アイソレータは、選択光結合器31のファイバ102から、反射後に選択結合器自体のファイバ103からコネクタ107に対する入 $\lambda_2$ 出力信号に他の方法で追加されるべき選択光結合器32のファイバ102へ伝搬する自発放出を停止する。

【0093】先に述べた装置は、図1に関して述べたものと同じタイプの伝送線をシミュレートする接続で実験された。図9に示される使用された実験的構成(図1の構成要素を対応する構成要素は同じ参照番号を付した)は、2つの終端局AおよびBと、3つの2方向性光増幅器6と、4つの可変減衰器5'とからなっていた。

【0094】特に、6で示される使用された増幅器は、図7に関して述べた形態における本発明による3つの2方向性増幅器であった。5'で示したのは、受動型光ファイバの一部の減衰をシミュレートする4つの可変減衰器である。使用された減衰器は、JDS FITEL社製のモデルVA 5であり、最初の実験中、これら減衰器はそれぞれ27dBの減衰を生じるように調整された。

【0095】中間位置に配置された光増幅器6の各入力I-IおよびII-IIで測定された1533nmと1556nmの波長で2つの方向に伝搬する信号のパワーは、-14dBmであった。

【0096】図10は、2方向性増幅器からの出力信号のスペクトルを再現しており、同図は、上記のANRITSU社製の光スペクトル・アナライザ、モデルMS9030A（メインフレーム）とMS9701B（光ユニット）により、それぞれ位置IIおよびIIIにおいて検出されたスペクトルのオーバーラップによって得られた。

【0097】0.5nm帯域で測定された信号／雑音比は、1533nm信号に対しては24.2dBであり、1556nm信号に対しては28dBであった。

【0098】他の全てのパラメータに対して無変更条件下で、可変減衰器5'の減衰を変化させることによって別の実験が行われた。一連の減衰値に対して、2.5Gビット／秒で変調された1533nm信号に対する伝送線のBERが測定された。結果は図11に示され、ここでy軸におけるBERが連続する各対の2方向性増幅器間の減衰（dB単位）に従って表わされ、27dBより低い減衰値に対してはBERが $10^{-11}$ より低いことが判る。

【0099】第2の形態による2方向性光増幅器の別の変更例は、波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ が各通過帯域に含まれ波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ が各反射帯域に含まれるように選択された如き選択光結合器31'、32'の使用により、かつ $\lambda_1$ および $\lambda_2$ 信号の伝搬方向の同時の反転により、即ち、光コネクタ106を $\lambda_1$ 信号が出てくる伝送線セグメントに、また光コネクタ107を $\lambda_2$ 信号が出てくる伝送線セグメントに接続することにより、当該構成を修正することによって達成される。

【0100】図12によれば、出願人により実験された2方向性増幅器の第3の構成は、4つの光結合器121、122、123、124と、1つの單方向性増幅ユニット20と、2つの光コネクタ106、107と、受動型光ファイバの部分125、126、127、128とからなり、これら構成要素は相互に接続されて光プリッジ接続を形成する。

【0101】図12に示されるように、コネクタ106は、選択結合器121のファイバ103に接続される。選択結合器121のファイバ101と選択結合器122のファイバ102間の接続は、ファイバ128によって行われる。單方向性増幅ユニット20は、このユニットの動作方向が選択結合器122から選択結合器124への方向であるように、選択結合器122のファイバ103と選択結合器124のファイバ103間に接続される。選択結合器122のファイバ101と選択結合器123のファイバ102間の接続は、ファイバ126によって行われる。選択結合器124のファイバ102と選択結合器123のファイバ101間の接続は、ファイバ127によって行われる。最後に、コネクタ1

07は、選択結合器123のファイバ103に接続される。

【0102】單方向性増幅ユニット20および光コネクタ106、107は、図6および図7に関して述べた装置において使用されたものと同じタイプのものである。

【0103】2方向性増幅器のいずれかの方向における動作波長 $\lambda_1$ および $\lambda_2$ は、單方向性増幅ユニット20の増幅帯域内で選択される。

【0104】選択結合器121、122、123、124は、3つのアクセス・ファイバ101、102、103で提供される形態における図3のAに関して述べた如き反射タイプの選択結合器である。この結合器は、各通過帯域の少なくとも一部と各反射帯域の少なくとも一部とが單方向性増幅ユニット20の増幅帯域内に含まれるよう選択されたものである。結合器121および123は、相互に相等のものであり、結合器122および124もまた相互に相等のものである。選択結合器121、123の通過帯域は、波長 $\lambda_1$ を含む。選択結合器121、123の通過帯域は更に、選択結合器122、124の通過帯域とのオーバーラップを呈することはない。波長 $\lambda_1$ は、選択結合器122、124の反射帯域に含まれ、波長 $\lambda_2$ は選択結合器121、123の反射帯域に含まれる。

【0105】従って、図に示されるように、相互に相等のものである結合器は、これらが挿入される光プリッジ結線中に信号の2つの伝搬方向に対して対称的に配置され、選択結合器122、124は、單方向性増幅ユニット20の2つの終端部が接続される光プリッジの頂部を占め、選択結合器121、123は、伝送線との接続のためのコネクタが接続される光プリッジの頂部を占める。

【0106】例えば、選択結合器121、123に関しては、モデルWD1515AY-A3を用いることができ、選択結合器122、124に関しては、モデルWD1515AX-A3を用いることができ、その両者はJDS FITEL社製である。モデルWD1515AY-A3については既に記述され、そのスペクトル特性は図4のAおよび図4のBに示されている。モデルWD1515AX-A3は、アクセス・ファイバの数において出願人により実験された第2の光増幅器形態に関して既に述べたモデル1515AX-4とは僅かに異なるだけで、関連するスペクトル特性は図8のA、図8のBに示される。使用されたモデルは共に、約0.5の性能指數（FOM）を有する。

【0107】図12によれば、選択結合器121の場合には、選択結合器帶域内の波長 $\lambda_1$ におけるアクセス・ファイバ103に対する入力信号がファイバ101へ送られ、波長 $\lambda_2$ におけるファイバ102に対する入力信号はファイバ103に対して反射される。

【0108】選択結合器122の場合には、選択結合器

帯域外の波長入<sub>1</sub>におけるアクセス・ファイバ102に対する入力信号はファイバ103へ反射され、波長入<sub>1</sub>におけるファイバ101に対する入力信号はファイバ103へ送られる。

【0109】選択結合器123の場合には、選択結合器帯域内の波長入<sub>1</sub>におけるアクセス・ファイバ101に対する入力信号がファイバ103へ送られ、波長入<sub>1</sub>におけるファイバ103に対する入力信号はファイバ102へ反射される。

【0110】選択結合器124の場合には、選択結合器帯域外の波長入<sub>1</sub>におけるアクセス・ファイバ103に対する入力信号は、ファイバ102へ反射され、波長入<sub>1</sub>におけるファイバ103に対する入力信号は、ファイバ101へ送られる。

【0111】コネクタ106を通る伝送線からの入<sub>1</sub>信号は、選択結合器121によって送られ、選択結合器122によって反射され、単方向性増幅ユニット20によって増幅され、次いで選択結合器124によって反射されて、選択結合器123を介してコネクタ107へ送られる。

【0112】伝送線からコネクタ107を介する入<sub>1</sub>信号は、選択結合器123により反射され、選択結合器122により伝送され、単方向性増幅ユニット20により増幅され、次いで選択結合器124により伝送されて、コネクタ106を介して選択結合器121によって反射される。

【0113】従って、この場合もまた、当該装置は、いずれの方向の2つの波長における信号を同時に増幅することが可能である。

【0114】両波長における信号は、2方向性増幅器内でそれぞれ2回の伝送と2回の反射を受ける。各反射と各送信に対しては、小さな減衰（ここで使用された構成要素の場合には、それぞれ約0.5 dBと0.7 dB）が対応するため、選択結合器の通過回数におけるこのような相等性が、いずれかの伝搬方向における増幅器に対する等しい応答を保証する。

【0115】選択結合器は、伝送時の通過毎に、図4のBおよび図8のBに示される如き帯域通過フィルタとして挙動し、これにより信号と共に伝搬する入<sub>1</sub>および入<sub>2</sub>の中間波長における自然放出を除去する。その代わり、各反射では、選択結合器は帯域除去フィルタとして挙動し（図4のA、図8のA）、自然放出を減衰することがない。

【0116】従って、2つの伝搬方向に関する選択結合器の対称的配置の故に、各伝搬方向における自然放出を減衰する構成要素に対する光の通過は少なくとも2回生じる。

【0117】2方向性増幅器の当該構成は、特に安定しており、別のフィルタを必要とすることなく信号の波長と異なる波長における振動がない。特に、この構成は、

光コネクタ106、107による光のあり得る部分逆反射に対して安定している。

【0118】上記の増幅器は、増幅器が光コネクタにより回線ファイバに接続され、そのコネクタが前記信号の小さな部分を逆反射するある条件下で、通過する信号のパワーの大半を伝送しながら、従って信号自体に対する光の連続性を保証する形式のものでよい光ファイバ伝送線における使用の場合に特に好都合である（例えば、前記コネクタ内の2つのファイバ伝送の不良位置による不完全なクランプの場合）。

【0119】上記の装置は、チャンネル当たり-28 dBまで減少する入力信号でテストされ、増幅器の不飽和条件下での最大利得を識別するために対応する利得を測定し、このような測定に基いて決定された小さな信号の利得値は約32 dBであった。

【0120】1つの実験において、増幅器が光コネクタ106、107を開路したままで、即ち伝送線と未接続状態でテストされた。これらの条件下で、使用されたタイプのコネクタは増幅器からの放射の逆反射を生じ、14 dBの減衰となった。

【0121】図13には、ファイバ自身（図12には示されない）に沿って配置され、各伝送帯域を（上記タイプの）光スペクトル・アナライザに対して分ける先に述べたと同じタイプの波長選択結合器により検出される、選択結合器121のファイバ103と選択結合器123のファイバ103からの出力信号のスペクトルが示される。

【0122】この実験は、不安定性現象の完全な不存在を証明した。

【0123】このことは、各場合において結合器自体による帯域の不完全な分離によりコネクタへの反射が存在する場合に、2つのタイプの選択結合器の通過帯域間の中間波長に対して形成され得る増幅ユニットを含むあり得るフィードバック・ループが、少なくとも20 dBだけ前記波長を減衰する構成要素（選択結合器）を通る少なくとも2回の通過を含むという事実によるものと見做される。これらの条件下では、コネクタにおいて非常に高い反射が存在する場合でさえ、振動を生じる条件を生じるにはほど遠い。

【0124】選択結合器を使用する場合で、例え高い反射率のコネクタを用いても40 dBの利得を有する増幅器でさえ振動問題は呈さないものと考えられる。

【0125】上記の装置もまた、図1に関して述べたものと同じタイプの伝送線を刺激する接続において第2の実験に供された。この用いられた実験形態は、図9に関して述べたものと同じであり、この記述を参照する。

【0126】使用された光増幅器6は、図12に関して述べた形態における本発明による3つの2方向性増幅器であった。

【0127】減衰器5'がそれぞれ27 dBの減衰を生

じるよう調整された。

【0128】中間位置に配置された増幅器6の入力I I およびI I I の各々で測定された1535nmと1555nmの波長で2つの方向に伝搬する信号のパワーは、それぞれ-13dBmであった。

【0129】図14は、2方向性増幅器からの出力信号のスペクトルを再現し、同図は上記タイプの光スペクトル・アナライザによりそれぞれ位置I I およびI I I において検出されたスペクトルを重ねることにより得られた。

【0130】0.5nm帯域について測定された信号／雑音比は、1535nm信号に対しては約26.7dBであり、1555nm信号に対しては約25.5dBであった。

【0131】当該第3の形態による2方向性光増幅器の別の変更例は、選択結合器122'、124'の通過帯域が波長 $\lambda_1$ を含み、選択結合器121'、123'の通過帯域が波長 $\lambda_2$ を含み、選択結合器121'、123'の通過帯域が更に選択結合器122'、124'の通過帯域とのオーバーラップを呈さず、波長 $\lambda_1$ が選択結合器121'、123'の反射帯域に含まれ、かつ波長 $\lambda_2$ が選択結合器122'、124'の反射帯域に含まれるように選択された如き選択結合器121'、122'、123'および124'の使用により当該形態を修正することにより、かつ $\lambda_1$ および $\lambda_2$ 信号の伝搬方向の同時の反転により（即ち、光コネクタ106を $\lambda_1$ 信号が出てくる伝送線セグメントに接続し、光コネクタ107を $\lambda_2$ 信号が出てくる伝送線セグメントに接続することにより）得られる。

【0132】本発明による2方向性増幅器と2方向性通信システムについて、これまで各方向で異なる波長を持つ信号の伝送に適合されるものとして記述された。

【0133】しかし、同じ装置およびシステムは、WDM（波長分離多重化）技法によって伝送される、即ち、異なる波長における適当にコード化された信号が各方向に伝送される信号の2方向性増幅に対しても用いることが可能である。

【0134】この場合、各通過帯域が各方向に伝送された信号の2つの波長グループを含むに充分な幅を有するように選択されることが使用される選択結合器にとって必要である。

【0135】更に、選択結合器の性能指数（FOM）は、2つの波長グループ、望ましくは0.5より大きな値の信号を選択結合器が分けることを可能にするのに充分に高くなければならない。

【0136】図3のAに関して述べた選択反射結合器に加えて、本発明は、選択結合器が使用される波長間の充分な分離、従って、性能指数（figure of merit）（FOM）の充分に高い値を保証することを前提として、別のタイプの波長の選択結合器の使用を供

することができる。

【0137】更に詳細には、図15に示されるように、2方向性光増幅器における使用に供される単方向性増幅ユニット20は、1つのエルビウムでドープされた能動型ファイバ（active fiber）と、これにダイクロイック結合器26を介して接続された1つの関連するポンプ・レーザ25とを含み、1つの光アイソレータ27が増幅される信号の移動方向にファイバ24の上流側の増幅器入力に配置され、第2の光アイソレータ28は増幅器出力に配置される。

【0138】別の実施例においては、増幅器は2段増幅器でよく、この場合、この増幅器はダイクロイック結合器を介して関連するポンプ・レーザと関連した第2のエルビウムでドープされた能動型ファイバを更に含み、好都合にも更に別の光アイソレータが2つの段の間に存在する。

【0139】上記の望ましい事例においては、ポンプ・レーザ25が下記の特徴を持つ量子井戸タイプのレーザであることが望ましい。即ち、

20 放出波長：  $\lambda_p = 980\text{ nm}$

最大光出力パワー： $P_p = 65\text{ mW}$

上記タイプのレーザは、例えば、米国マサチューセッツ州Burlington、North Avenue 37のLASERTRONにより製造される。

【0140】本例では、ダイクロイック結合器26は、980nmで波長帯域が1530～1560nmの单一モード・ファイバからなり、偏光に従って変動が0.2dBより小さな光出力パワーを持つ融解ファイバ結合器（melting-fiber coupler）である。

【0141】上記タイプのダイクロイック結合器は、周知であり、例えば、米国メリーランド州Gem Burnie、Baymeadow DriveのGOULD社の光ファイバ事業部により、また英国Devon州Torquay、Woodland RoadのSIFAM社の光ファイバ事業部によって市販され製造されている。

【0142】光アイソレータ27および28は、35dBより大きな遮蔽と-50dBより低い反射率を持ち、伝送信号の偏光とは独立的なタイプの光アイソレータである。適合するアイソレータは、上記ISOWAVE社のモデルMDLI-15PIPT-A S/N 1016である。

【0143】上記の回線増幅器は、正規の動作条件（全て-20dBmに対応する各方向で-23dBmのパワーを持つ入力信号）下で約25dBの利得を有する。飽和条件下の全光出力パワーは約11dBである。

【0144】上記タイプの回線増幅器における望ましい実施例においては、参考のため本文に援用されその内容が以下本文で要約される出願人の1994年4月14日付のイタリア国特許出願第M194A 000712号

に記載される如きエルビウムでドープされた能動型ファイバが使用される。

【0145】使用されたファイバの組成および光学的特

ファイバ	A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt% (mol%)	G e O <sub>2</sub> wt% (mol%)	L a <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt% (mol%)	E r <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt% (mol%)	N A	λ <sub>c</sub> nm
A	4 (2.6)	18 (11.4)	1 (0.2)	0.2 (0.03)	0.219	911

但し、

w t =コア中の酸化物の(平均)重量パーセント

m o l % =コア中の酸化物の(平均)モル・パーセント  
N A =開口数 ( $n^1 - n^2$ ) <sup>1/2</sup>

λ<sub>c</sub> =遮断波長 (L P 1 1 遮断)

組成の分析は、走査型電子顕微鏡 (S E M - 日立)と組合せたマイクロプローブによりプリフォーム(ファイバの紡出前)に対して行われ、分析は直径に沿って配置され相互に 200 μmだけ離れた離散点上の 1300 倍で行われた。

【0147】上記ファイバは、石英ガラス管内で真空メッキ法に従って作られた。

【0148】ドーパントとしてゲルマニウムのファイバ・コアの S i O<sub>2</sub> マトリックスへの組込みは合成工程中に得られた。

【0149】ファイバ・コアへのエルビウム、アルミナおよびランタンの組込みは「液中ドーピング (d o p i n g - i n - s o l u t i o n)」法によって得られ、この方法では、プリフォームの硬化前にドーパント塩化物の水溶液が粒状状態にあるファイバ・コアの合成材料と接触させられる。

【0150】前記「液中ドーピング」法についての更なる詳細については、例えば、参考のため本文に援用される米国特許第 5, 282, 079 号に見出すことができる。

【0151】先に述べた事例では、能動型ファイバ 24 は約 12 m の長さであった。

【0152】上記ファイバの使用により、異なる波長におけるこのファイバが呈する平坦な利得カーブによって最良の結果が得られたが、A l / G e タイプのファイバを用いる増幅器により出願人が行った実験は満足し得る結果を示した。

【0153】増幅ユニットの機能性についての検査を行って通常要求される検査および安全の兆候を生じるために入力における増幅ユニットは、望ましくは入力パワーの 5 % を生じる 95 / 5 の出力が関連するフォトダイオード 151 へ送られる分離比を持つ一方向性結合器 150 を含み、望ましくは 99 / 1 の分離比を持つ第 2 の方向性結合器 152 が増幅ユニットの出力に更に存在し、信号の 1 % を運ぶファイバが各フォトダイオード 153 に接続された。

【0154】適切な方向性の結合器は、例えば、米国カルフォルニア州 San Jose, Lundy Av

徵は、下記の表 2 に要約される。

【0146】

表 2

ファイバ	A l <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt% (mol%)	G e O <sub>2</sub> wt% (mol%)	L a <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt% (mol%)	E r <sub>2</sub> O <sub>3</sub> wt% (mol%)	N A	λ <sub>c</sub> nm
A	4 (2.6)	18 (11.4)	1 (0.2)	0.2 (0.03)	0.219	911

e. 1885 の終了 - TEK DYNAMICS 社から入手可能な融解ファイバ結合器である。

10 【0155】フォトダイオード 151, 153 の電気的出力は周知のものとして示さない電子制御装置へ送られる。

【0156】この構成は、增幅ユニットの機能性についての検査の実施を可能にし、かつ要求される安全装置の管理を可能にする。しかし、上記の 2 方向性の構成において使用されるならば、これは 2 つの方向に伝搬する信号についての個々の情報は提供しない。

【0157】2 つの方向における増幅器に関する光入出力パワーの同時の検査を同時にを行うことを可能にする目的のため、図 16 に示される構造が使用された。

【0158】前記図に示されるように、図 15 のブロック 154 に示される如き検査装置を持たない光增幅ユニットを含む先に述べたタイプの 2 方向性光増幅器 6 が、望ましくは 92 / 8 の分離比 (separation ratio) で 2 方向性結合器 155 および 156 間に接続され、最も小さな光パワー (2 %) を運ぶ結合器の出力が検査用フォトダイオード 157, 158, 159, 160 の各々に接続される。

【0159】適切な方向性結合器は、例えば、上記の終了 - TEK DYNAMICS 社により市販される融解型ファイバ結合器である。

【0160】図 16 の図面に示されるように、方向性結合器は対称的に配置された 4 つの入出力ポートを持ち、このように、結合器 155 に入力される  $\lambda_1$  波長信号

(図において、左から右へ進む) が、増幅器 6 に接続された出力ポート (98 %) とフォトダイオード 158 に接続された出力ポート (2 %) 間に上記比で分けられ、同様に、結合器 156 に入力される同じ  $\lambda_1$  波長信号は、回線に接続された出力ポート (98 %) とフォトダイオード 159 に接続された出力ポート (2 %) 間に分けられる。

【0161】これが、増幅器に入力される  $\lambda_1$  波長の光パワー値のフォトダイオード 158 での測定と、増幅器から出力される  $\lambda_1$  波長の光パワー値のフォトダイオード 159 での測定とを可能にし、これにより右から左へ進むチャンネルの機能性についての完全な情報を得、同じ方法で、フォトダイオード 160 および 157 における入出力光パワーが図において右から左へ伝播する信号の波長  $\lambda_2$  でそれぞれ測定される。

【0162】それぞれの方向性結合器の分離比は、結合

器の対称的特徴により両方向で同じ値を有する。この値は、増幅器からの出力パワーをあまり大きく犠牲を生じることなく各方向に増幅器に対して入力される比較的低いパワーを検出して充分なパワーを伝送回線からフォトダイオード 158、160へ分けるように選択される（高い全パワーが増幅器出力で得られ、フォトダイオード 157、159にその動作に充分なパワーが達し得るためにパワーの少部分を分けるのに充分である）。

【0163】反対方向に伝搬するチャンネルの場合に 1533 nm および 1556 nm の近傍の波長  $\lambda_1$  および  $\lambda_2$  と、約 10 nm 幅の通過帯域を持つ波長選択結合器が用いられる時、前記選択結合器が約 0.5 の性能指数（FOM）を持つことが望ましい。

【0164】10 nm より大きい -0.5 dB での通過帯域幅が存在する場合、選択結合器に対して対応的に高い性能指数（FOM）が要求されることになる。

【0165】従って、本発明の一特徴によれば、2つ以上の反対方向に伝搬する波長分離チャンネルに対する上記タイプの2方向性光ファイバ増幅器を、第1の通過帯域を持つ2つの波長選択結合器と、選択結合器が増幅器に対して対称的に配置される第2の通過帯域を持つ2つの波長選択結合器とを含むブリッジ結線に光アイソレータを含む増幅ユニットを配置することにより、不安定性または振動が存在しない場合に作ることができることが判った。

【0166】特定の一実施例において、本発明は、各方向に対するチャンネルがこのチャンネル間に充分な分離を行う選択結合器の通過帯域に含まれることを前提として、各伝送方向に対して幾つかのチャンネルを含む伝送線に対しても適用し得る。

【0167】従って、本発明の一特徴において、内蔵される増幅ユニットの高い利得値が存在する場合、および使用される選択結合器が、どんな波長に対しても増幅器の最大利得より小さいかこれと等しい総減衰を持つ増幅ユニットまたは内蔵される増幅ユニットを含むループが形成されない如き構成を持つ時、例えば、それぞれ比較的高い反射率の光コネクタの使用により、光回路の特定の位置における局在化された反射が存在する場合にも、2方向性タイプの増幅器における振動現象の発生を禁じ得ることが判った。

【0168】特に、このことは、一方向に進む各信号が同じシーケンスで選択光結合器における反射および伝送に遭遇するような光増幅器回路における構成要素の構成によって達成し得る。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による2方向性伝送線を示す図である。

【図2】本発明による線に対するインターフェース・ユニットを示す図である。

【図3】Aは、2方向性増幅器において使用される選択性反射結合器を示す図である。Bは、前記選択性反射結合器のスペクトル伝送カーブを示す図である。

合器のスペクトル伝送カーブを示す図である。

【図4】AおよびBは、第1のタイプの選択性反射結合器の2対のアクセス・ファイバ間の伝送された信号のスペクトル減衰カーブである。

【図5】公知技術による2方向性光増幅器を示す図である。

【図6】出願人により実験された2方向性光増幅器を示す図である。

【図7】本発明の一実施例における2方向性光増幅器を示す詳細図である。

【図8】AおよびBは、第2のタイプの選択性反射結合器の2対のアクセス・ファイバ間の伝送信号のスペクトル減衰カーブである。

【図9】本発明の一実施例を含む伝送線を示す図である。

【図10】図9における伝送線における2方向性光増幅器の2つの出力における重合された信号スペクトルを示すグラフである。

【図11】図9における伝送線における増幅器間の減衰に応じるBER（ピット・エラー・レート）を示すグラフである。

【図12】本発明の第2の実施例における2方向性光増幅器を示す詳細図である。

【図13】光入力信号が存在しない場合における2方向性光増幅器の2つの出力における測定スペクトルの重なりを示すグラフである。

【図14】光入力増幅器の存在する場合における2方向性光増幅器の2つの出力における測定スペクトルの重なりを示すグラフである。

【図15】本発明の2方向性増幅器において使用できる単方向性増幅ユニットを示す図である。

【図16】2方向性光増幅器に対する監視および制御システムを示す図である。

#### 【符号の説明】

1 A、1 B レーザ送信機

2 A、2 B 受信局

3 ブースタ

4 選択結合器

5 光回線

6 2方向性光増幅器

7 外部信号源

8 光検出器（フォトダイオード）

9 電子増幅器

10 パイロット回路

11 変調レーザ・エミッタ

12 許容回路

13 連続放出形レーザ

14 マッハ-ツエンダ形外部変調器

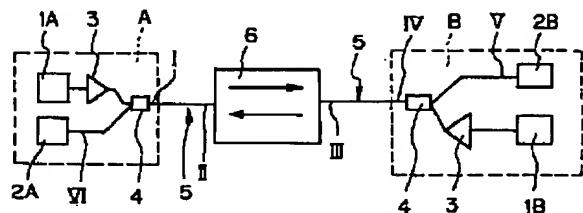
20 単方向性増幅ユニット

21 波長選択結合器

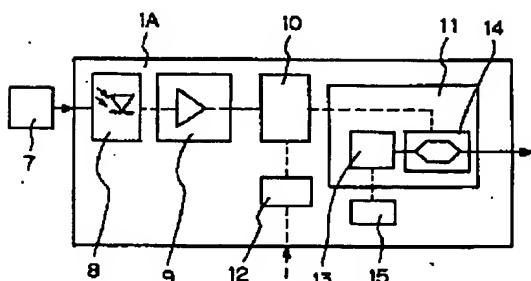
- 2 2 波長選択結合器  
 2 4 ファイバ  
 2 5 ポンプ・レーザ  
 2 6 ダイクロイック結合器  
 2 7 光アイソレータ  
 2 8 第2の光アイソレータ

- 3 1 選択光結合器  
 3 2 選択光結合器  
 3 3 光アイソレータ  
 3 4 ファイバ  
 3 5 ファイバ

【図 1】

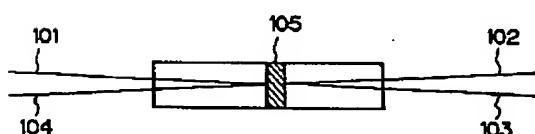


【図 2】

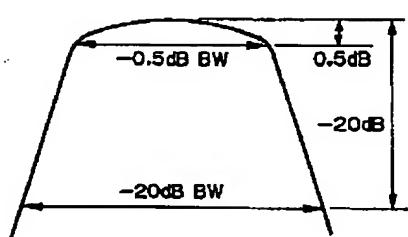


【図 3】

A

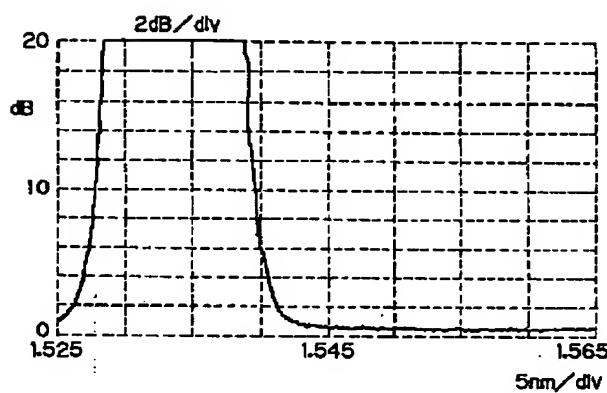


B

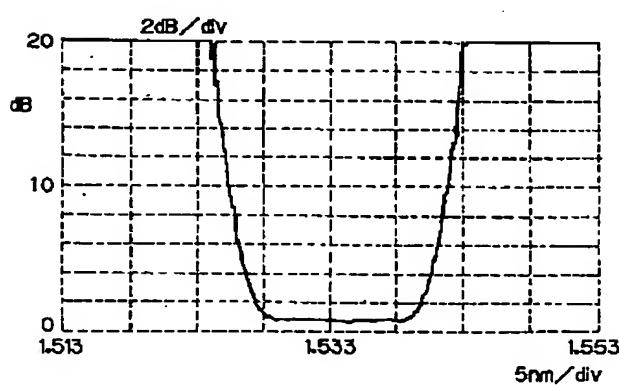


【図 4】

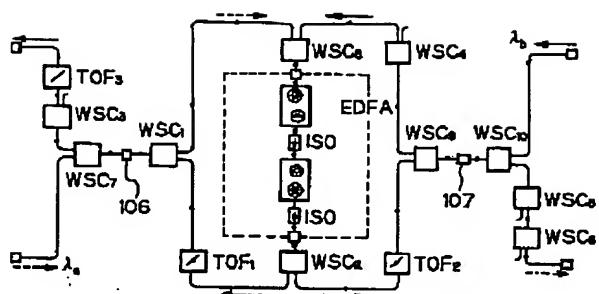
A



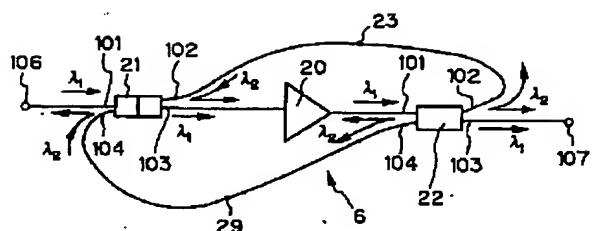
B



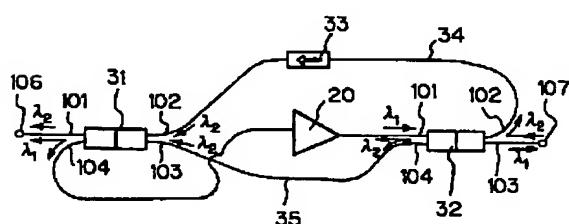
【図5】



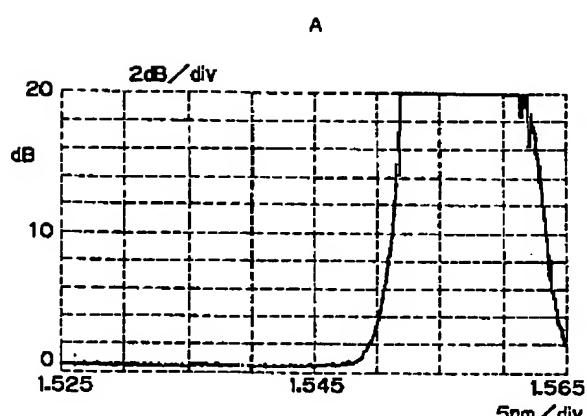
【図6】



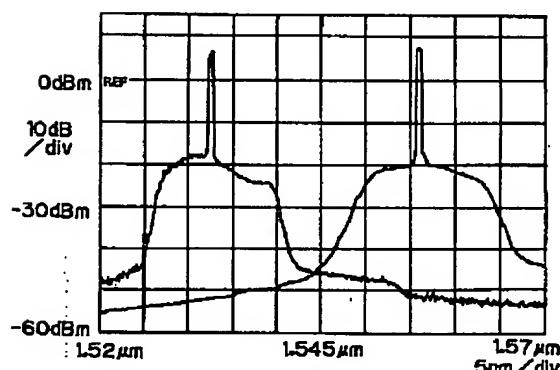
[图7]



[圖 8]



【図10】

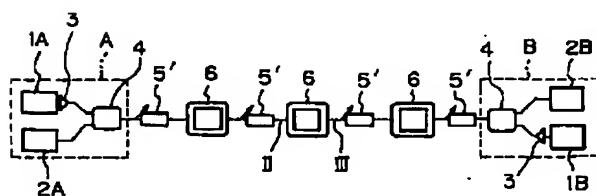


B

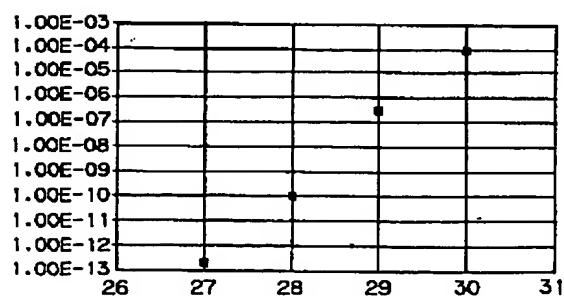
Figure B shows a transmission spectrum with two deep absorption dips. The y-axis is labeled 'dB' and ranges from 0 to 20. The x-axis is labeled 'nm' and ranges from 1.537 to 1.577. Two sharp peaks are visible at approximately 1.537 nm and 1.557 nm, with a depth of about 18 dB.

Wavelength (nm)	Transmittance (dB)
1.537	~18
1.542	~10
1.547	~5
1.552	~5
1.557	~18
1.562	~10
1.567	~18

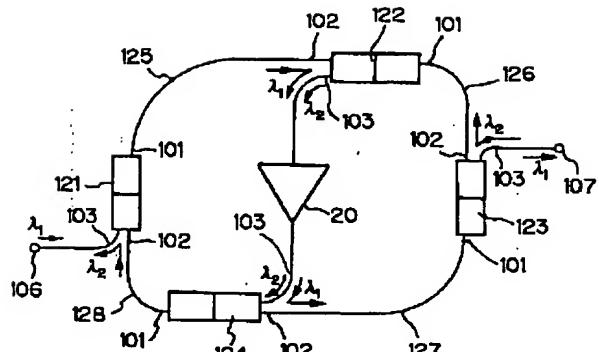
[図9]



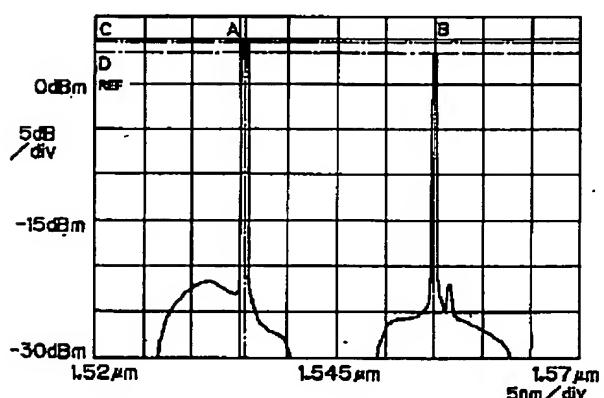
[図11]



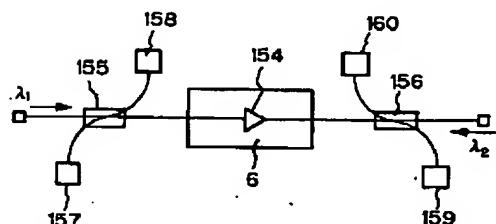
【図 1 2】



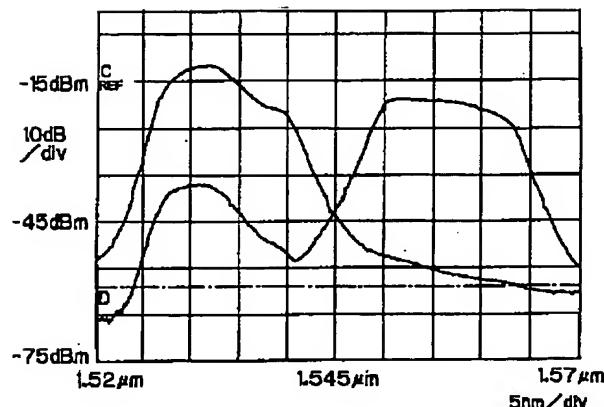
【図 1 4】



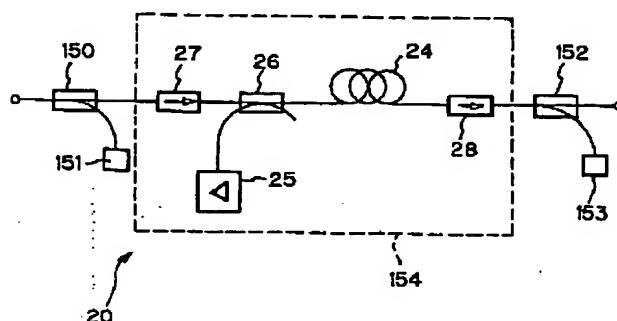
【図 1 6】



【図 1 3】



【図 1 5】



フロントページの続き

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>

識別記号 庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 4 B 10/18